

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА
ПОМЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ПО
ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ И ВЕРТИКАЛЬНЫМ ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ**

А.Э. Ни, Т.А. Нагорнова

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Г.В. Кузнецов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: nee_alexander@mail.ru

**MATHEMATICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF RADIANT HEATING OF PREMISES
WITH ACCOUNTING HEAT FLUX DISTRIBUTION ALONG HORIZONTAL AND VERTICAL
BUILDING ENVELOPE**

A.E. Nee, T.A. Nagornova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. G.V. Kuznetsov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: nee_alexander@mail.ru

Mathematical simulation of unsteady convective-conductive heat exchange in premises, heated by infrared radiant heater is passed. Heat flux density from infrared radiant heater was calculated accounting energy distribution along horizontal and vertical building envelope Comparison between steady and unsteady radiation intensity was done.

Анализ лучших мировых достижений в области теплоснабжения и отопления большого ряда категорий зданий и сооружений показал целесообразность применения автономных газовых малоинерционных систем лучистого отопления и обогрева [1].

Современные методики расчета тепловых режимов зданий, основанные на балансных моделях [2], не дают полной картины теплового состояния системы теплоэнергопотребления. Перспективным для таких задач является математическое моделирование процессов кондуктивно – конвективного теплопереноса в сопряженной постановке [3, 4]. Известен алгоритм расчета систем лучистого отопления помещений [5], который не учитывает конвективную составляющую процесса теплопереноса и аккумуляция тепловой энергии ограждающими конструкциями. В математической модели [6] принималось, что интенсивность излучения распределена равномерно. В действительности, поток излучения распределён по поверхности ограждающих конструкций неравномерно.

Целью данной работы является численное исследование процесса теплообмена в помещениях, обогреваемых газовыми инфракрасными излучателями с учетом распределение тепловых потоков по горизонтальным и вертикальным ограждающим конструкциям.

В большинстве случаев, производственные цеха представляют собой помещения в форме параллелепипедов с высокими потолками. Область решения рассматриваемой задачи представлена в виде прямоугольника. Геометрическая постановка приведена на рисунке 1.

Область решения состоит из 5 прямоугольников. Ограждающие конструкции выполнены из железобетона. Воздух рассматривается как несжимаемая ньютоновская жидкость в приближении Буссинеска. Принято допущение, что теплофизические свойства воздуха и железобетона не зависят от температуры. Воздух абсолютно прозрачен для теплового излучения. Режим течения жидкости ламинарный. При постановке задачи предполагалось, что суммарный лучистой поток представлен в виде суммы тепловых потоков q_1, q_2 и q_3 , которые вычислялись с учетом угловых коэффициентов излучения [7].

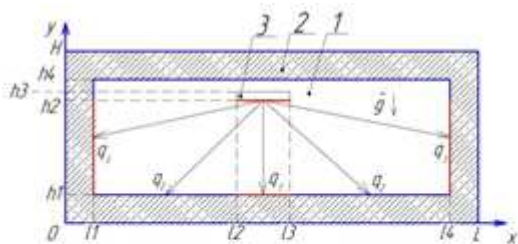


Рис. 1. Область решения задачи: 1) Воздух; 2) Ограждающие конструкции; 3) Газовый инфракрасный излучатель (условное обозначение).

Исследуемый процесс описывается нестационарными уравнениями Навье – Стокса для воздуха и уравнением теплопроводности для ограждающих конструкций. Безразмерные уравнения Буссинеска в переменных «вихрь скорости – функция тока – температура» имеют вид [3,6]:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \sqrt{\frac{Pr}{Ra}} \cdot \nabla^2 \Omega + \frac{1}{2} \frac{\partial \Theta_1}{\partial X}, \quad (1)$$

$$\nabla^2 \Psi_1 = -\Omega, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta_1}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{Ra \cdot Pr}} \cdot \nabla^2 \Theta_1, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Theta_2}{\partial Fo_2} = \nabla^2 \Theta_2. \quad (4)$$

где: Θ – безразмерная температура; Ω – безразмерный аналог вихря скорости; X, Y – безразмерные координаты; ∇ – безразмерный оператор Набла; Ψ – безразмерный аналог функции тока; Ra – число Рэлея; Pr – число Прандтля; Fo – число Фурье.

Начальные и граничные условия для уравнений (1) – (4):

$$\Psi_1(X, Y, 0) = 0; \Omega_1(X, Y, 0) = 0; \Theta_1(X, Y, 0) = 0; \Theta_2(X, Y, 0) = 0;$$

$$X = 0, X = 1, 0 < Y < 1: \frac{\partial \Theta_2(X, Y, \tau)}{\partial X} = 0;$$

$$Y = 0, Y = 1, 0 < X < 1: \frac{\partial \Theta_2(X, Y, \tau)}{\partial Y} = 0.$$

На внутренних границах твердой стенки и воздуха, параллельных осям OX и OY ставились граничные условия 4 рода вида:

$$\Psi_1 = 0, \frac{\partial \Psi_1}{\partial Y} = 0, \left\{ \begin{array}{l} \Theta_1 = \Theta_2, \\ \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} + Ki_i, \text{ где } i = 0..3 \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} \Theta_2 = \Theta_1, \\ \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} + Ki_i, \text{ где } i = 0..3. \end{array} \right.$$

Индексы для числа Кирпичева соответствуют значениям плотности тепловых потоков q_1, q_2 и q_3 . Индекс 0 означает, что число Кирпичева равно нулю.

Уравнения (1) – (4) с соответствующими начальными и граничными условиями решались методом конечных разностей [8]. В качестве граничного условия для вектора вихря использовалось условие Вудса.

Принимались следующие значения безразмерных критериев: число Рэлея $Ra = 10^6$, число Прандтля

$Pr=0,71$, числа Кирпичева $Ki_1 = 2$, $Ki_2 = 0,4$, $Ki_3 = 0,3$. Результаты численного моделирования представлены на рисунке 3. Размеры по осям координат отложены в метрах.

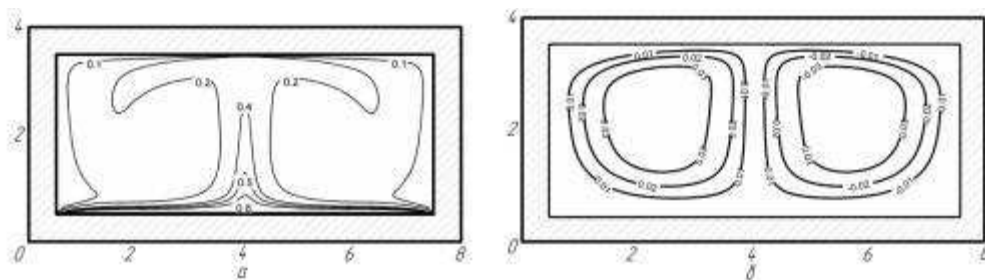


Рис. 2. Изолинии температур (а) и функции тока (б) ($t= 3600$ секунд), постановка [6]

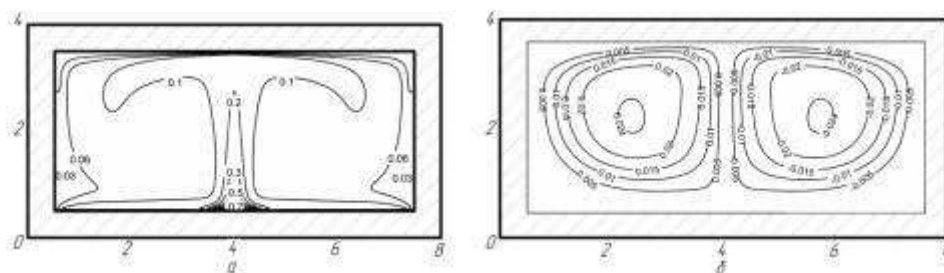


Рис. 3. Изолинии температур (а) и функции тока (б) ($t= 3600$ секунд)

Проведено сравнение результатов, полученных при допущении, что тепловой поток распределен равномерно (рис.2) и неравномерно (рис.3). Можно сделать вывод, что характер течения воздуха не имеет особых различий, но поля температур отличаются. Из рисунка 3 видно, что значительная доля энергии поглощается областью $x=h_1$, $l_2 < y < l_3$, параллельной ГИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roth K. Infrared radiant heaters// ASHRAE, Journal, June 2007.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1970. – 376 с.
3. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Mathematical modeling of complex heat transfer in a rectangular enclosure // Thermophysics and Aeromechanics. – 2009. – V. 16. – № 1. – P. 119–128.
4. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. New approach to the mathematical modeling of thermal regimes for electronic equipment // Russian Microelectronics. – 2008. – V. 37. – № 2. – P. 131–138.
5. Бухмиров В.В., Крупенников С.А., Солнышкова Ю.С. Алгоритм расчета систем лучистого отопления помещений // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2010. – Вып. 4. – С. 23–25.
6. Kuznetsov G.V., Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I., Mamontov G.Ya. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2013. – V. 86. – № 3. – P. 519–524.
7. Stevenson J.A., Radiation Heat Transfer Analysis for Space Vehicles, Rept SID-61-91, North American Aviation (AFASD TR-61-119, pt.1), Sept.9, 1961.
8. Пасконов В. М., Полежаев В.И. Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. М.: Наука, 1984. – 288 с.